

## ANALISIS PROSES PEMBENTUKAN HIx UNTUK MENDUKUNG PEMISAHAN PRODUK REAKSI BUNSEN DALAM MENINGKATKAN PRODUKSI HIDROGEN

Oleh

Tumpal Pandiangan

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**ANALISIS PROSES PEMBENTUKAN HIx UNTUK MENDUKUNG PEMISAHAN PRODUK REAKSI BUNSEN DALAM MENINGKATKAN PRODUKSI HIDROGEN.** Salah satu keunggulan proses termokimia I-S dibanding dengan metode lainnya adalah adanya peluang peningkatan efisiensi termal dalam proses pembentukan produk reaksi Bunsen. Tujuan penelitian adalah memperoleh cara yang lebih baik dalam proses pemisahan hasil reaksi bunsen. Telah dilakukan eksperimen pencampuran bahan produk reaksi Bunsen dengan komposisi fraksi mol pembentuk senyawa dari HIx ( $2\text{HI} + 10\text{H}_2\text{O} + 8\text{I}_2$ ) dan larutan asam sulfat dalam air ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ ) pada temperatur sekitar  $120^\circ\text{C}$  dalam tekanan 1 atm, selama 1 jam pemanasan. Karakteristika hasil reaksi setelah ditunggu sekitar 24 jam, secara visualisasi menunjukkan tampak dua fasa yang terpisah yang diperkirakan adalah fasa HIx dan fasa larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan  $\text{H}_2\text{O}$ . Fasa HIx berada pada bagian bawah dan campuran asam sulfat dengan air pada bagian atas tabung reaksi. Apabila hasil reaksi yang terpisah ini ditambah dengan  $\text{H}_2\text{O}$ , dan ditunggu selama 74 jam, campuran tersebut menjadi tidak terpisah, tetapi menjadi larut satu sama lain. Namun ketika produk hasil reaksi yang terpisah tersebut ditambah dengan asam sulfat, tampak kedua fasa tetap terpisah. Dengan mengontrol komposisi reaktan reaksi dapat memberi kemudahan dalam proses pemisahan produk reaksi Bunsen.

Kata kunci: Reaksi Bunsen, HIx, termokimia, hidrogen

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF HIx SYNTHESIS PROCESS FOR SUPPORTING BUNSEN REACTION PRODUCT SEPARATION IN INCREASING HYDROGEN PRODUCTION.** One of the I-S thermochemical advantage compared with the others method is a thermal efficiency challenged in its processing. The purpose of the research is to get a good knowledge of a separation method of the Bunsen reaction product. A thermal efficiency challenge is carried out by mixing of the Bunsen reaction product of the HIx composition solution ( $2\text{HI} + 10\text{H}_2\text{O} + 8\text{I}_2$ ) and the sulfuric acid phase and water solution ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ ) at temperature  $120^\circ\text{C}$  and 1 atm during 1 hour of heating. The experiment product characteristic, after waiting of 24 hours confirm there are two separated phase of HIx and the  $\text{H}_2\text{SO}_4$  reaction as visualisation that was predicted. The HIx exist on the bottom and the sulfat acid phase solution on the upper of reaction tube. If into that's reaction is added with  $\text{H}_2\text{O}$  and than waited during of 74 hours, the reaction product is to be not separated but remain in one solutions. But if into that's reaction product is added some of the  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , the two phase of reaction product are still separated. By a reaction composition controlling, it can give a supporting in the Bunsen reaction product separated.

Keywords: Bunsen reaction, HIx, thermochemical, hydrogen

### PENDAHULUAN

*Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menargetkan bahwa pada tahun 2025 pemanfaatan sumber daya energi baru dan terbarukan mencapai 4,4 %<sup>[1,2]</sup>. Pada saat ini kontribusinya masih sangat jauh dari target 4,4 %. Dibandingkan dengan prosentasi pemanfaatan BBM, kontribusi sumber energi baru dan terbarukan adalah sangat minim. Dengan perkembangan iptek yang sangat pesat, kini telah diketahui secara umum bahwa hidrogen

adalah merupakan pembawa energi (*energy carrier*) yang fleksibel dan sangat baik.

Salah satu permasalahan yang sangat signifikan dalam meningkatkan efisiensi termal produksi hidrogen yaitu proses pembentukan dan pemisahan komposisi HIx ( $\text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{HI}$ )<sup>[3]</sup>. HIx diharapkan terjadi di dalam tabung reaksi dengan cara menambah fraksi  $\text{I}_2$  yang melebihi ukuran stoikometri reaksi Bunsen. Sedangkan kelebihan  $\text{I}_2$  di dalam reaksi Bunsen diinginkan untuk membentuk HIx. Hal ini dilakukan guna memberi kemudahan dalam hal proses pemisahannya dari asam sulfat. Melalui kemudahan ini diperoleh

peningkatan efisiensi termal produksi hidrogen. Keunggulan proses termokimia I-S dibanding dengan metode lainnya adalah peningkatan efisiensi termal tersebut yaitu pada bagian proses reaksi Bunsen proses termokimia I-S. Pada penelitian ini, peluang efisiensi termal diupayakan pada proses reaksi Bunsen tersebut.

Telah dilakukan eksperimen pencampuran bahan reaksi untuk komposisi fraksi mol pembentukan senyawa HIx dan senyawa larutan asam sulfat dengan komposisi  $2\text{HI} + 14\text{H}_2\text{O} + 8\text{I}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$  pada temperatur sekitar  $120\text{ }^\circ\text{C}$  pada tekanan 1 atm, selama 1 jam pemanasan dan diharapkan akan terjadi senyawa HIx yang mengendap dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang berada di bagian atasnya. Ke dalam hasil reaksi yang terpisah ini ditambah dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan atau  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dibiarkan selama 74 jam, kemudian diamati pengaruh penambahan tersebut terhadap sifat pemisahan produk reaksi tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu kondisi yang dapat membentuk senyawa HIx dan mengetahui bagaimana pengaruhnya terhadap kelebihan fraksi mol baik dari  $\text{H}_2\text{O}$  maupun  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

## METODOLOGI

### Bahan

- (i) Senyawa HI
- (ii)  $\text{I}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$
- (iii) Detektor temperatur
- (iv) Pemanas listrik
- (v) Tabung reaksi
- (vi) Tabung pemanas tabung reaksi

### Prosedur

Dilakukan pencampuran pada komposisi HIx, kemudian dipanaskan pada temperatur sekitar  $120\text{ }^\circ\text{C}$  pada tekanan 1 atm. Tabung reaksi yang berisi sampel kemudian dimasukkan ke dalam bejana yang sudah berisi oli. Kemudian oli dipanaskan oleh plat pemanas listrik. Pemanasan dilakukan sekitar 1 jam. Eksperimen dilakukan seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Eksperimen yang dilakukan

## TEORI

Proses produksi hidrogen secara termokimia dengan proses I-S terdiri dari beberapa komponen proses atau reaksi kimia yang membentuk suatu siklus tertutup. Komponen reaksi kimia tersebut adalah: (i) reaksi Bunsen ( $\text{I}_2(\text{l}) + \text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HIx} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ); (ii) pemisahan hasil reaksi Bunsen; (iii) pemurnian hasil reaksi Bunsen dan (iv) dekomposisi hasil reaksi Bunsen  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{SO}_2(\text{g}) + 1/2\text{O}_2(\text{g})$  dan  $2\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ . Dari reaksi tersebut di atas, terlihat bahwa reaksi Bunsen merupakan reaksi utama yang sangat penting dalam proses produksi hidrogen termokimia I-S. Oleh karena itu segala permasalahan pada reaksi Bunsen harus terlebih dahulu diketahui penyelesaiannya sebelum beranjak pada tahapan reaksi berikutnya, terutama untuk mencapai tujuan akhir yaitu mewujudkan proses I-S siklus tertutup dan memproduksi hidrogen secara efisien. Kombinasi dari beberapa reaksi kimia eksoterm dan endoterm yang membentuk suatu proses termokimia tertentu dapat menurunkan temperatur proses pemecahan air menjadi hidrogen dan oksigen. Pemecahan air secara langsung membutuhkan temperatur  $5000\text{ }^\circ\text{C}$ , sedangkan dengan proses termokimia, pemecahan air dapat berlangsung pada temperatur maksimum  $850\text{ }^\circ\text{C}$ , seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokan reaksi Bunsen dan reaksi pemisahan<sup>[4]</sup>

No	Reaksi kimia	Suhu reaksi ( $^\circ\text{C}$ )	Status Termokimia
1	$\text{SO}_2 + \text{XI}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HIx}$ (Reaksi Bunsen)	120	Eksoterm
2	$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2$ (Reaksi komposisi)	850	Endoterm
3	$2\text{HIx} \rightarrow 2\text{HI} + (\text{X}-1)\text{I}_2$ (Reaksi pemurnian)	300	Endoterm
4	$\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$ (Reaksi ekomposisi)	400	Sedikit endoterm
5	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$ (Reaksi ekomposisi)	5000	Sangat endoterm

Reaksi nomor 1 – 4 adalah gabungan reaksi eksoterm dan endoterm yang membentuk proses termokimia pemecahan air menggunakan katalis  $\text{I}_2$  dan  $\text{SO}_2$  (*Iodine-Sulfur* / I-S). Proses termokimia ini membutuhkan air dan katalis I-S, dan hasil proses adalah hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) serta

I-S yang dapat dipakai kembali sebagai katalis. Dalam proses termokimia ini temperatur reaksi maksimal 850 °C, jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan temperatur reaksi pemecahan air secara langsung 5000 °C. Masalah pada reaksi Bunsen yaitu (a) produk reaksi bunsen adalah berbentuk  $\text{HI}_x$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  untuk itu sebelum diuraikan menjadi  $\text{H}_2$  dan  $\text{I}_2$  maka terlebih dahulu dimurnikan menjadi  $\text{HI}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; dan (b) keterbatasan data dukung termodinamika proses.

Proses SI pertama kali dikembangkan oleh General Atomic (GA) dalam tahun 70-an dan awal 80-an. Proses SI mempunyai keuntungan karena semua reaktan dan produk adalah dalam bentuk cair. Temperatur  $\text{I}_2$  adalah 386,85K sehingga reaksi Bunsen dilakukan pada temperatur 393K. Pada temperatur ini reaksi tidak disukai, energi bebas berubah saat  $\Delta G_{400\text{K}} = +82 \text{ KJ/mol}$ . GA menemukan bahwa operasi pada kondisi *non stoichiometric* dengan menggunakan  $\text{I}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang berlebih sehingga konversi ditingkatkan lebih besar. Kelebihan  $\text{I}_2$  akan menggeser maju kesetimbangan reaksi Bunsen untuk menghasilkan asam yang lebih banyak. Yang paling penting dalam hal tersebut adalah proses tersebut membuat terjadinya pemisahan produk dua larutan *aqueous* secara spontan, salah satunya asam sulfur (fasa ringan) dan lainnya adalah asam polyhydriodic ( $\text{HI}_x$ , fasa berat). Penemuan sifat-sifat ini telah banyak menyelesaikan pemisahan yang sangat sulit. Pemisahan fasa terjadi adalah akibat dari formasi asam *polyhydriodic* dimana anion disolvasi oleh *diodine* molekul. Sebagai mana  $\text{HI}$ ,  $\text{I}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , larutan  $\text{HI}_x$  mengandung ion-ion  $\text{I}_3^-$  dan sejumlah proton polyiodine kompleks, yaitu  $\text{I}_2\text{H}^+$ ,  $\text{I}_4\text{H}^+$  dan  $\text{I}_6\text{H}^+$ , Calabrese dan Khan, 2000<sup>[5]</sup>.

Karakteristik pemisahan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HI}$  diperbaiki dengan meningkatkan konsentrasi  $\text{I}_2$ , Sakura dkk, 2000. Bagaimana pun konsentrasi diatas saturasi  $\text{I}_2$ , komposisi kedua fasa tetap konstan. Pada jumlah  $\text{H}_2\text{O}$  yang berlebih juga menggeser maju kesetimbangan reaksi Bunsen untuk menghasilkan lebih banyak asam tetapi hal itu juga menyebabkan perubahan substansi dalam entalpi reaksi disebabkan oleh kelarutan asam. Senyawa hasil reaksi Bunsen secara stokiometri antara  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HI}$ , dengan persamaan reaksi  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{HI} \rightarrow \text{S} + 3\text{I}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 8\text{HI} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 4\text{I}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ . Namun dengan alasan kemudahan dalam pemisahan  $\text{HI}$  dari  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , maka komposisi reaksi Bunsen dibuat tidak stokiometri yaitu dengan menambahkan  $\text{I}_2$  yang berlebih dari yang seharusnya.

## HASIL DAN DISKUSI

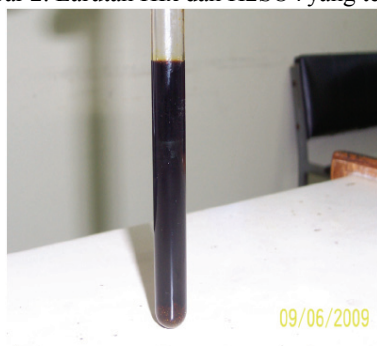
Reaksi Bunsen menghasilkan produk  $\text{HI}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan juga reaksi samping berupa endapan sulfur ( $\text{S}$ ) dan gas  $\text{H}_2\text{S}$ . Produk reaksi samping akan mengurangi produk  $\text{HI}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Selain itu,  $\text{HI}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  adalah bersifat polaritas sehingga sukar dalam proses pemisahan antara kedua produk. Untuk mengatasi kedua hal tersebut di atas dilakukan penambahan fraksi reaktan  $\text{I}_2$  dan pengontrolan besar fraksi  $\text{H}_2\text{O}$  yang tepat, sehingga terbentuk senyawa  $\text{HI}_x$  ( $2\text{HI} + 10\text{H}_2\text{O} + 8\text{I}_2$ ) dan ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ ). Hasil eksperimen pencampuran reaksi dengan komposisi fraksi mol pembentukan  $\text{HI}_x$  pada temperatur sekitar 120 °C pada tekanan 1 atm, selama 1 jam pemanasan menunjukkan terdapat dua fasa yang terpisah yaitu fasa  $\text{HI}_x$  pada bagian bawah tabung reaksi dan fasa campuran asam sulfat dengan air pada bagian atas tabung reaksi seperti pada Gambar 2. Hasil penelitian ini mirip dengan hasil penelitian orang lain dari Itali<sup>[6]</sup> dimana kedua hasil penelitian ini membentuk dua fasa lapisan yaitu lapisan yang ada pada bagian bawah yang lebih keruh dan lapisan atas yang lebih bening. Lapisan bawah adalah fasa  $\text{HI}_x$  dan lapisan atas adalah fasa campuran  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan air. Pemisahan hasil reaksi terjadi karena adanya perbedaan berat jenis yang signifikan antara  $\text{HI}_x$  dengan asam sulfat, sehingga daya tarik gravitasi terhadap  $\text{HI}_x$  lebih besar dari pada daya tarik gravitasi pada asam sulfat. Hal ini membuat  $\text{HI}_x$  berada pada bagian bawah tabung reaksi, sedangkan asam sulfat berada pada bagian atas tabung reaksi. Apabila hasil reaksi yang terpisah ini ditambah dengan  $\text{H}_2\text{O}$ , dan dibiarkan selama 74 jam, campuran tersebut menjadi tidak berpisah seperti pada Gambar 3, namun bila produk yang terpisah tersebut ditambah dengan asam sulfat, maka kedua fasa tetap terpisah seperti dalam Gambar 4.

Pencampuran dengan penambahan  $\text{H}_2\text{O}$  terhadap campuran dua fasa yang terpisah di atas diduga akan terjadi pelepasan ikatan  $\text{I}_2$  dari  $\text{HI}_x$  dan kemudian disubstitusi oleh  $\text{H}_2\text{O}$  sehingga mengubah  $\text{HI}_x$  menjadi lebih encer dan kemudian  $\text{HI}_x$  larut dalam asam sulfat sehingga tidak terjadi pemisahan antara kedua fasa tersebut, sedangkan penambahan dengan asam sulfat tidak dapat mengganggu ikatan  $\text{HI}_x$  dengan  $\text{I}_2$  ( $\text{HI}_x$ ) sehingga ke dua fasa  $\text{HI}_x$  dan larutan ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) tetap terpisah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bila fraksi mol  $\text{H}_2\text{O}$  lebih besar dari 14/25 bagian, maka akan mengganggu ikatan senyawa  $\text{HI}_x$  sedangkan kelebihan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dari 1/25 fraksi mol tidak dapat mengganggu ikatan  $\text{HI}_x$ , sehingga kedua fasa tetap berpisah berdasarkan daya tarik gravitasi yang berbedah. Fenomena ini sesuai dengan hasil penelitian dari General Atomic. General Atomic

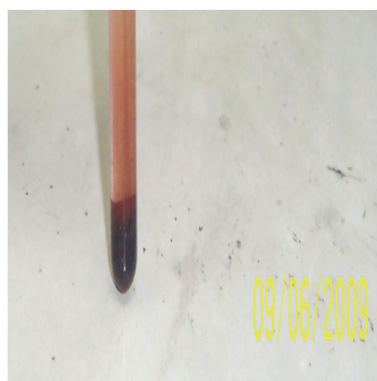
menemukan bahwa operasi pada kondisi *non stichimetric* dengan menggunakan I<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang berlebih dalam tabung reaksi Bunsen sehingga membuat konversi dapat ditingkatkan menjadi lebih besar. Kelebihan I<sub>2</sub> dalam tabung reaksi Bunsen dapat menggeser maju kesetimbangan reaksi Bunsen guna menghasilkan produk asam yang lebih banyak.



Gambar 2. Larutan HIx dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang terpisah



Gambar 3. Larutan HIx dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang tidak terpisah



Gambar 4. Larutan HIx dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang ditambah H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Yang paling penting dalam hal tersebut adalah proses tersebut membuat terjadinya pemisahan produk dua larutan *aqueous* secara spontan, salah satunya yaitu asam sulfur ( fasa ringan) dan satunya lagi adalah asam *polyhydriodic* (HIx, fasa

berat). Pemisahan fasa terjadi adalah akibat dari formasi asam *polyhydriodic* dimana anion anion *disolvasi* oleh *diiodine* molekul. Sebagai mana HI, I<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, larutan HIx mengandung ion-ion I<sup>3-</sup> dan sejumlah proton *polyiodine* kompleks, yaitu I<sub>2</sub>H<sup>+</sup>, I<sub>4</sub>H<sup>+</sup> dan I<sub>6</sub>H<sup>+</sup>, Calabrese and Khan, 2000.

## KESIMPULAN

Proses pembentukan HIx dipengaruhi oleh komposisi pembentuknya, bila kelebihan H<sub>2</sub>O akan membentuk senyawa polar yang larut dalam asam sulfat sehingga campuran tersebut sukar untuk dipisahkan, sedangkan dengan kelebihan asam sulfat tidak mempengaruhi pemisahan campuran tersebut. Hasil eksperimen pencampuran dengan komposisi fraksi mol 2HI+10H<sub>2</sub>O+8I<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+ 4H<sub>2</sub>O pada temperatur sekitar 120 °C pada tekanan 1 atm, selama 1 jam pemanasan akan membentuk senyawa HIx yang dapat dipisahkan menjadi dua fasa larutan yaitu fasa kaya HI dan fasa kaya asam sulfat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Redaksi Majalah Ilmiah Sigma Epsilon yang telah membantu dalam perbaikan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. PANDIANGAN, T., "Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Reaksi Samping Reaksi Bunsen untuk Produksi Hidrogen", dokumen PTRKN-BATAN.
2. ANONYMOUS, "Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025", (www.esdm.go.id), Jakarta, 2005.
3. ONUKI, *et al.*, "Thermochemical Hydrogen Production by Iodine - Sulfur Cycle", Prosiding 14<sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference, Montreal, Canada, 2002.
4. BROWN, LC., *et al.*, "High Efficiency Generation of Hydrogen Fuels Using Nuclear Power", Proposal to US-DOE prepared under Nuclear Energy Research Initiative Program, DE-FG03-99SF21888.
5. NAKAJIMA, *et al.*, "Closed Cycle Continuous Hydrogen Production Test by Thermochemical I-S Process", Kagaku Kougaku Ronbunsha, Vol.24, No.2, pp.252-355, 1998.
6. RACHAEL, H., *et al.*, "Use of Membranes and Reactive Distillation for the Separation of HIx in the Sulphur-Iodine Cycle", Departement of Chemical and Process Engineering, University of Sheffield, Mappin St, Sheffield S13JD, UK.